



(51) Classification internationale des brevets :
A61B 5/103 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2009/050679

(22) Date de dépôt international :
10 avril 2009 (10.04.2009)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
0852480 14 avril 2008 (14.04.2008) FR

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) :
COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE [FR/
FR]; Bâtiment Le Ponant D, 25, Rue Leblanc, F-75015
Paris (FR).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : CATTIN,
Viviane [FR/FR]; 71, rue des Moutonnées, F-38120 Saint
Egreve (FR). GUILHAMAT, Bernard [FR/FR]; Les
Fourcoulès, F-38590 Saint Michel De Saint Geoirs (FR).
HELIOT, Rodolphe [FR/FR]; 9, chemin du Bois,
F-64600 Anglet (FR).

(74) Mandataire : CABINET BEAUMONT; 1, Rue
Champollion, F-38000 Grenoble (FR).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre
de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM,
AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ,
CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ,
EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN,
HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR,
KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME,
MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO,
NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG,
SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre
de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH,
GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM,
ZW), eurasién (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ,
TM), européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE,
ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV,
MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR),
OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML,
MR, NE, SN, TD, TG).

[Suite sur la page suivante]

(54) Title : SHOE SOLE HAVING FORCE SENSORS

(54) Titre : SEMELLE A CAPTEURS DE FORCE

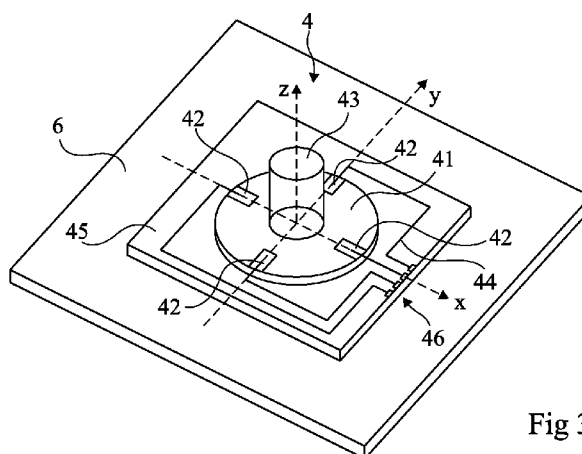


Fig 3

(57) Abstract : The invention relates to a shoe sole instrumented to measure forces in three dimensions, comprising devices taking measurements at specific points, each of which are provided with: a sensor (4) comprising a rigid rod (43) with a low diameter, around 0.2 mm to 1 mm, connected by one end thereof to the center of a deformable membrane (41) having a surface area of around 1 mm² to around 10 mm², and having stress gauges, said sensor being capable of measuring the three components of the forces to which the rigid rod (43) is subjected; and a feedback plate (6) supporting the sensor (4) that has a surface much higher than that of the membrane (41), around 1 to 3 cm², the plate (6) being more rigid than the material (23) forming the shoe sole and having a center of symmetry approximately aligned with a symmetry axis (z) for the sensor defined by the axis of the rigid rod (43).

(57) Abrégé :

[Suite sur la page suivante]



Publiée :

- *sans rapport de recherche internationale, sera republiée
dès réception de ce rapport (règle 48.2.g))*

L'invention concerne une semelle instrumentée pour une mesure de forces en trois dimensions, comportant des dispositifs de mesure ponctuels pourvus chacun: d'un capteur (4) comportant une tige rigide (43) de faible diamètre, compris entre environ 0,2 mm et 1 mm, reliée par une de ses extrémités au centre d'une membrane déformable (41) ayant une surface comprise entre environ 1 mm² et environ 10 mm², portant des jauges de contrainte (42), ce capteur étant apte à mesurer les trois composantes des forces subies par la tige rigide (43); et d'une plaque de réaction (6) portant le capteur (4), de surface très supérieure à celle de la membrane (41), de l'ordre de 1 à 3 cm², la plaque (6) étant plus rigide que le matériau (23) constitutif de la semelle et présentant un centre de symétrie approximativement aligné avec un axe de symétrie (z) du capteur défini par l'axe de la tige rigide (43).

SEMELLE À CAPTEURS DE FORCEDomaine de l'invention

La présente invention concerne de façon générale l'analyse de la marche et autres allures de locomotion humaine et, plus particulièrement, la mesure de forces subies par différentes régions
5 du pied lors de ses appuis au sol.

La présente invention concerne plus particulièrement la réalisation d'une semelle intégrant des capteurs de force.

Exposé de l'art antérieur

On connaît de nombreux systèmes pour analyser les
10 forces de réaction au sol et les pressions plantaires lors de la marche d'un être humain.

Parmi ces systèmes, ceux utilisant des semelles instrumentées qui intègrent des capteurs de forces sont préférés à des systèmes basés sur des tapis de marche pour des raisons de
15 miniaturisation et de capacités de mesure en situation réelle.

Pour améliorer l'analyse, on ne se contente plus d'une mesure des forces de pression (force normale au plan de la semelle) mais on cherche à tenir compte des forces de cisaillement (forces tangentielles).

20 Par exemple, le document WO1997/018450 décrit un réseau matriciel de capteurs piézorésistifs susceptible d'être intégré dans une chaussure. Ce réseau est constitué de nombreuses couches

intégrées dans toute la surface de la semelle, ce qui ajoute de la dureté à la semelle et fausse son comportement.

De plus, une rupture mécanique d'un conducteur, voire un défaut d'une zone piézorésistive rend hors service toute une
5 ligne et/ou colonne de la matrice.

Par ailleurs, dans le montage matriciel du document susmentionné, les positions des mesures ne peuvent pas être choisies en fonction des informations que l'on souhaite recueillir.

Ces inconvénients sont présents que ce soit pour des
10 structures dans lesquelles les zones piézorésistives sont capables de détecter des forces de pression entre la chaussure et le sol, ou des forces en cisaillement dans cette surface de contact.

En outre, lorsque l'on souhaite tenir compte des forces tangentiellles, il est souhaitable de ne tenir compte que des
15 forces qui résultent du lien au sol et non de la déformation de la semelle elle-même. Dans un capteur matriciel du type décrit dans le document susmentionné, les capteurs captent toutes les forces tangentiellles sans distinction.

Résumé de l'invention

20 Il serait souhaitable de disposer d'une semelle instrumentée de capteurs de force qui pallie les inconvénients des techniques connues.

Il serait également souhaitable que les capteurs de force ne dénaturent pas le comportement de la semelle.

25 Il serait également souhaitable de pouvoir distinguer les forces de pression des forces de cisaillement.

Il serait également souhaitable de ne prendre en compte que les forces de cisaillement qui sont liées aux interactions de la semelle avec le sol.

30 Pour atteindre tout ou partie des objets ainsi que d'autres, il est prévu une semelle instrumentée pour une mesure de forces en trois dimensions, comportant des dispositifs de mesure ponctuels pourvus chacun :

- d'un capteur comportant une tige rigide de faible
35 diamètre, compris entre environ 0,2 mm et 1 mm, reliée par une

de ses extrémités au centre d'une membrane déformable ayant une surface comprise entre environ 1 mm^2 et environ 10 mm^2 , portant des jauges de contrainte, ce capteur étant apte à mesurer les trois composantes des forces subies par la tige rigide ; et

5 - d'une plaque de rétroaction portant le capteur, de surface très supérieure à celle de la membrane, de l'ordre de 1 à 3 cm^2 , la plaque étant plus rigide que le matériau constitutif de la semelle et présentant un centre de symétrie approximativement aligné avec un axe de symétrie du capteur
10 défini par l'axe de la tige rigide.

Selon un mode de réalisation de la présente invention, les dispositifs de mesure sont répartis le long de la fibre neutre de la semelle.

15 Selon un mode de réalisation de la présente invention, la surface de la plaque de rétroaction est choisie en fonction de la résolution souhaitée pour le caractère ponctuel des mesures.

20 Selon un mode de réalisation de la présente invention, les capteurs, leurs plaques de rétroaction respectives et des conducteurs aptes à véhiculer les signaux électriques sont noyés dans le matériau constitutif de la semelle.

25 Selon un mode de réalisation de la présente invention, pour mesurer des efforts d'un pied au sol au moyen d'un capteur, la plaque correspondante est située côté pied par rapport au capteur.

Selon un mode de réalisation de la présente invention, pour mesurer des efforts de la plante du pied sur la semelle au moyen d'un capteur, la plaque correspondante est disposée côté sol par rapport au capteur.

30 Selon un mode de réalisation de la présente invention, la semelle inclue des circuits de traitement des mesures effectuées par les capteurs.

35 Selon un mode de réalisation de la présente invention, les positions respectives des dispositifs de mesure dans la surface de la semelle sont choisies en fonction des informations

souhaitées sur la marche ou autre allure d'un être portant la semelle.

Selon un mode de réalisation de la présente invention, la semelle est intégrée dans une chaussure.

5 Selon un mode de réalisation de la présente invention, la semelle est intégrée dans une chaussette.

Il est également prévu un système de collecte d'informations relatives aux forces en trois dimensions imprimées par un être humain ou animal sur le sol lors de la marche ou autre
10 allure, comportant :

au moins une semelle équipant un des pieds de l'être humain ou animal ; et

au moins une unité de traitement de signaux électriques fournis par les capteurs.

15 Brève description des dessins

Ces objets, caractéristiques et avantages, ainsi que d'autres seront exposés en détail dans la description suivante de modes de réalisation particuliers faite à titre non-limitatif en relation avec les figures jointes parmi lesquelles :

20 la figure 1 est une vue schématique générale d'un mode de réalisation d'une chaussure à semelle instrumentée ;

la figure 2 est une vue schématique de l'intérieur d'une semelle instrumentée ;

la figure 3 est une vue schématique en perspective d'un mode de réalisation préféré d'un dispositif de mesure de
25 forces d'une semelle instrumentée ;

la figure 4 est une vue en coupe schématique d'une variante du dispositif de la figure 3 ;

la figure 5 est une vue latérale en coupe illustrant
30 un exemple de localisation de dispositifs de mesure dans l'épaisseur de la semelle ; et

la figure 6 est un schéma bloc d'un mode de réalisation d'un système de mesure.

Description détaillée

De mêmes éléments ont été désignés par de mêmes références aux différentes figures. Par souci de clarté, seuls les éléments utiles à la compréhension de l'invention ont été représentés et seront décrits. En particulier, l'exploitation des signaux électriques fournis par la semelle instrumentée n'a pas été détaillée, l'invention étant compatible avec toute exploitation habituelle. De plus, le moulage de la semelle pour l'intégration des dispositifs de mesure n'a pas non plus été détaillé, l'invention étant là encore compatible avec les techniques usuelles de réalisation des semelles de chaussures.

Pour simplifier et sauf précision contraire, on fera par la suite référence à la marche pour désigner l'ensemble des allures et mouvements possibles (marche, saut, course, etc.).

La figure 1 est une vue latérale schématique d'une chaussure 1 équipée d'une semelle 2 instrumentée de capteurs selon un mode de réalisation de la présente invention. Cette semelle est soit rapportée sous une semelle existante de la chaussure, soit comme cela est représenté, constitue la semelle de la chaussure.

La figure 2 est une vue de dessus d'un mode de réalisation d'une semelle instrumentée, par exemple destinée à équiper une chaussette ou la chaussure de la figure 1.

Selon ce mode de réalisation, plusieurs dispositifs ponctuels 3 de mesure de force sont répartis à des endroits de la semelle 2 d'où l'on souhaite tirer une information sur la force normale (pression) et sur les forces tangentiellles (cisaillement) subies à ces différents endroits. La connaissance locale des forces tangentiellles permet en particulier l'analyse du déroulé du pied lors de la marche.

Chaque dispositif 3 est relié, de préférence par des fils 51 de communication des mesures, réunis en un bus 52, à un connecteur 25 vers l'extérieur. Le cas échéant, des circuits de prétraitement de signaux électriques produits par des capteurs de force que comportent respectivement les dispositifs 3 sont

intégrés dans la semelle par exemple au niveau du connecteur 25. Il s'agit, par exemple, de circuits de synchronisation permettant de sérialiser ou de multiplexer les informations sur un bus série. Le cas échéant, la transmission à destination d'un système de traitement externe à la semelle est effectuée par des
5 moyens d'émission sans fil.

La figure 3 est une vue en perspective d'un mode de réalisation préféré d'un dispositif de mesure 3 de la semelle de la figure 2.

10 Selon ce mode de réalisation, un dispositif 3 de mesure ponctuel comporte un microcapteur ponctuel 4 de type capteur de forces 3D ou tri-axe. Le capteur 4 comporte une membrane déformable 41 (tête du capteur) équipée de jauges de contraintes 42 et d'une tige rigide 43 reliée à la membrane 41.
15 Un axe z de symétrie de la tige 43 est perpendiculaire au plan (x, y) de la membrane 41 au repos et est aligné avec le centre de symétrie de la membrane, de préférence circulaire. La section de la tige 43 est inférieure à la surface de la membrane 41. Les jauges de contraintes 42 sont préférentiellement au nombre de 4
20 et sont régulièrement réparties. La membrane est, par exemple, portée par un substrat 45 sur lequel sont réalisées des pistes conductrices 44 jusqu'à des plots 46 de raccordement aux fils 51 (figure 2).

Le dispositif de mesure 3 comporte également une
25 plaque de rétroaction 6 portant le capteur 4. Cette plaque 6 est plus rigide que le matériau constitutif du reste de la semelle 2 et que la membrane 41. La surface de la plaque 6 de rétroaction 6 est sensiblement plus grande que la surface de la membrane 41 et, a fortiori que la section de l'extrémité libre de la tige
30 43. Les tailles respectives du capteur 3D (plot ponctuel 43 de très faible surface et membrane déformable 41) et de la plaque de rétroaction 6 conditionnent le caractère ponctuel des mesures et leur sensibilité. La tige 43 agit à la manière d'un levier. Plus la surface de la plaque 6 est grande par rapport à la
35 surface de la membrane 41, plus la mesure est locale

(ponctuelle) et sensible. A l'inverse, plus la surface de la plaque est proche de la surface de la membrane, plus la mesure est globale et moins elle est sensible. Le rôle de la plaque 6 est en effet de fournir un effet de rétroaction des contraintes imprimées par la tige 43 sur la membrane 41 et donc sur les jauges de contrainte disposées à sa surface, et d'éviter que ces contraintes ne soient absorbées par la semelle qui est généralement dans un matériau plus souple. La plaque de rétroaction 6 est, comme cela est représenté, rapportée à l'arrière du substrat. La plaque 6 présente de préférence un centre de symétrie aligné avec l'axe de symétrie z de la tige 43 (donc avec le centre de symétrie de la membrane 41) pour faciliter l'interprétation des mesures. Elle est, par exemple, carrée, ronde, hexa ou octogonale, etc. Ainsi, le dispositif de mesure présente un axe de symétrie (le cas échéant à l'exception du substrat 45 qui peut être rectangulaire) correspondant à l'axe de la tige.

Un exemple de réalisation d'un microcapteur 3D, 4, tel qu'utilisé pour l'invention est décrit dans le document EP-A-1 275 949. Ce microcapteur 3D y est nommé comme étant de type « clou » pour faire ressortir son caractère ponctuel. Un autre exemple de capteur de forces de type clou est décrit dans la demande de brevet européen EP-A-1 688 733 au nom du demandeur.

Les capteurs miniatures décrits dans le document EP-A-1 275 949 sont réalisés en utilisant les technologies de fabrication des circuits semiconducteurs. Plus particulièrement, la tige 43 est en silicium et présente un diamètre de quelques centaines de micromètres. Lorsque cette tige est soumise à une force, elle crée une déformation locale de la membrane 41. Cette déformation est captée par les jauges de contraintes 42. Ces jauges de contraintes émettent des signaux véhiculés par les conducteurs 44.

En utilisant de tels capteurs, le traitement opéré par les circuits électroniques contenus dans la semelle ou externes à celle-ci permettent de déterminer les trois composantes de la

force subie par la tige 43 de chaque capteur (deux composantes dans le plan de la membrane 41 et une composante perpendiculaire à celui-ci).

Selon un mode de réalisation particulièrement
5 intéressant de l'invention, les capteurs 3D, 4, illustrés par la figure 3 sont avec leurs réseaux filaires de raccordement noyés dans le matériau constitutif de la semelle. En effet, le fonctionnement du capteur n'est pas entravé par une telle
intégration dans la semelle par moulage, contrairement à
10 d'autres types de capteurs utilisés pour capter des forces dans des semelles, comme par exemple ceux décrits dans la demande de brevet japonais publiée sous le numéro JP 2005 214850 A, car dans l'invention les plots portant les capteurs sont isolés pour permettre les mesures. En particulier, dans le document
15 susmentionné, la taille des capteurs est telle qu'ils interagissent les uns avec les autres. En outre, le fait que la structure l'invention soit compatible avec les techniques usuelles de réalisation des semelles de chaussures est très important car le comportement de la semelle reste « normal » et n'est pas du
20 tout affecté par la présence des capteurs ponctuels de mesure 3D, 4.

La figure 4 est une vue en coupe transversale d'un mode de réalisation d'un dispositif de mesure intégré dans la semelle.

25 Chaque capteur 4 est dans un boîtier ou substrat 45 qui est, en face avant, ouvert autour de la tige 43 pour permettre à celle-ci de bouger et de déformer la membrane 41. Les jauges de contraintes 42 sont portées par la face de la membrane 41 opposée à la tige 43. Le boîtier ou substrat 45 définit, à
30 l'arrière de la membrane par rapport à la tige 43, une chambre 47 recevant les déformations de la membrane. La chambre 47 est généralement remplie de gaz.

La plaque de rétroaction 6 est rapportée sur le fond du boîtier 45 à l'opposé de la tige 41. Dans l'exemple de la
35 figure 4, la plaque 6 est en deux parties 61 et 62. La partie 61

comporte une ouverture centrale 611 à l'aplomb d'une partie centrale du fond du capteur. Cette ouverture 611 communique avec une chambre 64 définie par les faces des parties 61 et 62 en regard l'une de l'autre et sert notamment au raccordement
5 électrique du capteur 4. Par exemple, la plaque arrière 62 comporte un via 621 de passage de la liaison filaire 51 dont les extrémités des fils sont raccordées à des pistes conductrices portées par la face arrière (par rapport au capteur 4) de la plaque avant 61 et débouchant dans la chambre 64 pour raccorde-
10 ment par fils 63 au connecteur 46 (ou équivalent) du capteur 4. La chambre 64 est, par exemple, finalement comblée avec une résine. En figure 4, le dispositif de mesure 3 a été illustré enrobé dans le matériau 23 de la semelle 2.

L'orientation d'un dispositif de mesure donné dans la
15 semelle dépend de l'information que l'on souhaite qu'il mesure. Si la plaque de rétroaction 6 se trouve côté pied par rapport au capteur 4, la mesure renseigne de la réaction du sol sur le pied, donc sur les efforts du pied au sol. A l'inverse, si la plaque de rétroaction 6 est côté sol par rapport au capteur 4
20 (tige vers le haut), la mesure renseigne de la réaction du pied sur le sol, donc sur les efforts de la plante du pied sur la semelle. Les différentes dispositions peuvent être combinées dans une même semelle à différents endroits de celle-ci.

Chaque dispositif de mesure 3 ne comporte qu'une seule
25 plaque de rétroaction 6 (le cas échéant en plusieurs parties). En effet, si un capteur 4 est encadré de deux plaques rigides côté tige 43 et côté membrane 41, il ne mesure plus rien. A l'inverse, en l'absence de plaque de rétroaction 6, le capteur 4 bouge dans le matériau relativement souple de la semelle, ce qui
30 fausse les mesures.

D'autres capteurs 3D pourront être utilisés, pourvu qu'ils forment des dispositifs de mesure ponctuels et suffisamment petits (de préférence de moins de 2 cm²).

Les positions respectives des dispositifs de mesure,
35 donc des capteurs dans la surface de la semelle, sont choisies

en fonction des mesures souhaitées et plus particulièrement de l'allure ou du mouvement que l'on souhaite étudier.

Par exemple, des capteurs placés dans le talon ou au bout du pied fournissent une information relative à l'appui. On
5 peut alors déterminer, par exemple, si la personne est debout, accroupie, assise, en appui vers l'arrière ou vers l'avant.

Pour mesurer des informations relatives à la marche, on positionne de préférence plusieurs capteurs le long de la ligne que suit le point d'appui au sol pendant le déroulé du
10 pied comme l'illustre la figure 2.

Pour des applications orientées vers l'étude des sauts, plusieurs capteurs sont de préférence placés sous des zones d'amorties (régions postérieures et antérieures de la plante) ou de propulsion (bords externes de la plante et gros
15 orteil).

La figure 5 est une vue latérale en transparence et schématique d'un mode de réalisation d'une semelle instrumentée.

Les dispositifs de mesure 3, donc les capteurs 4, sont répartis le long d'un plan couramment appelé fibre neutre de la
20 semelle. La fibre neutre (symbolisée par un pointillé 27 en figure 5) correspond, dans l'épaisseur de la semelle, à la région où le matériau se déforme le moins par lui-même. En effet, on recherche à mesurer les déformations qui résultent des forces liées au sol et non les déformations de la semelle seule.
25 Dans le cas d'une semelle parfaitement plane, la fibre neutre est également plane. Toutefois, la plupart du temps l'épaisseur de la semelle varie selon ces régions et la fibre neutre est ondulée comme l'illustre la figure 5. La fibre neutre d'une semelle est déterminée par modélisation ou simulation, elle dépend de la
30 géométrie de la semelle.

Le plus souvent, le matériau d'enrobage 23 qui constitue la semelle et qui enrobe les dispositifs de mesure 3 a une dureté Shore A comprise entre 40 et 50. La plaque de rétroaction 6 est rigide (d'une dureté suffisante pour ne pas se déformer

pendant la marche ou le saut, par exemple en matériau époxy FR4).

Selon un exemple particulier de réalisation, les dispositifs de mesure sont noyés dans une semelle en un matériau de type élastomère en polyuréthane présentant une dureté Shore A de l'ordre de 40 (typique des valeurs de dureté des semelles de chaussures de sport). Un tel matériau présente peu de mémoire de forme. On pourra également choisir du caoutchouc. Un matériau ayant peu de mémoire de forme permet d'obtenir une hystérésis faible à la compression et de limiter ainsi l'atténuation de la mesure lors de mouvement dynamique. Cela limite également le fluage qui se traduit par une dérive irréversible d'une mesure statique.

L'élastomère en polyuréthane présente en outre l'avantage d'être suffisamment rigide pour être insensible aux rugosités/irrégularités du sol et suffisamment souple pour que les efforts globaux transmis par le matériau déforment la membrane du capteur de force et permettent une mesure.

La rigidité du matériau d'enrobage 23 est conditionnée par les forces maximales que peuvent supporter les capteurs. Plus précisément, la dureté de la semelle 2 doit être suffisante pour que les forces qu'elle transmet aux tiges 43 des capteurs n'excèdent pas la capacité de déformation de leur membrane 41, faute de quoi le capteur risque d'être endommagé. A l'inverse, si la dureté de la semelle est trop importante, d'une part, elle s'éloigne des conditions réelles et d'autre part, la sensibilité des dispositifs de mesure 3 est réduite.

De préférence, la tige 43 des capteurs présente un diamètre compris entre environ 0,2 et environ 1 mm et la membrane 41 a une surface comprise entre environ 1 mm² et environ 10 mm². Le substrat 45 a, par exemple, des dimensions comprises entre environ 2x3 mm² et 3,5x5 mm². De telles dimensions participent à l'obtention du caractère ponctuel du capteur, en particulier en autorisant la disposition de plusieurs capteurs (notamment alignés dans une direction de la

semelle) sans que ces capteurs ne soient trop proches les uns des autres. On évite ainsi les interactions des capteurs les uns avec les autres.

A titre d'exemple particulier de réalisation, l'extré-
5 mité libre de la tige 43 des capteurs présente un diamètre d'environ 500 micromètres, la membrane 41 a un diamètre de 2 mm, soit une surface de l'ordre de $3,14 \text{ mm}^2$, et le substrat 45 a des dimensions de l'ordre de $3 \times 5 \text{ mm}^2$. Avec de telles dimen-
10 sions, les forces maximales que subit ce capteur, pour une semelle 2 de dureté Shore A de 40, sont de l'ordre d'un Newton pour un marcheur, de deux à trois Newtons pour un coureur, et de six Newtons pour un sauteur.

Avec de telles dimensions, une plaque de rétroaction
6, carrée, de surface comprise entre de 1 et 3 cm^2 , soit de
15 l'ordre de 30 à 100 fois plus grande que la surface de la membrane, donne de bons résultats. Si la densité des capteurs dans la semelle est importante, les plaques de rétroaction 6 doivent être de dimensions plus réduites de façon à assurer une
20 concentration locale des efforts sous le capteur sans perturber la transmission des efforts entre les capteurs noyés dans la semelle. A l'inverse, si la semelle comporte peu de capteurs, la plaque doit être assez grande pour concentrer les efforts dans la zone de mesure en restant préférentiellement de l'ordre centimétrique afin de ne pas trop déformer la semelle.

25 La figure 6 est un schéma bloc illustrant un système d'exploitation des mesures effectuées par deux semelles instrumentées 2g et 2d telles que décrites ci-dessus. Les signaux issus des capteurs 4 sont, dans cet exemple, prétraités (notamment numérisés) par des circuits 25 des semelles et sont transmis
30 par des liaisons radiofréquence jusqu'à un récepteur, symbolisé par une antenne 71 associée à une unité de traitement 73 (PU) de type microprocesseur d'un système informatique. Les mesures sont, de préférence, stockées en mémoire 75 pour analyse ultérieure. L'unité centrale 73 est associée à un ou plusieurs

périphériques de restitution des mesures, par exemple une imprimante 77 et un écran 79.

En variante, les semelles 2 intègrent des éléments de numérisation et de stockage des mesures qui sont déchargées ultérieurement, avec ou sans fil, vers un système d'analyse.

Le cas échéant, les semelles 2 peuvent être dotées d'un mécanisme de multiplexage temporel permettant l'acquisition simultanée des voies verticales des capteurs puis de leurs voies longitudinales et enfin des voies transversales.

Dans le cas de capteurs 4 possédant quatre jauges de contraintes 42 régulièrement réparties par rapport au centre de la membrane 41, on peut définir un repère de centre correspondant au centre de la membrane et dont les axes sont respectivement définis par l'axe de la tige 43 (axe normal z , figure 3) et par les deux paires de jauges diamétralement opposées (axes transversaux x et y). Les différences respectives entre les informations extraites des signaux fournis par chaque paire de jauges diamétralement opposées fournissent les informations sur les deux composantes tangentielles (horizontales) de la force appliquée tandis que la somme des informations extraites des quatre jauges fournit l'information sur la composante normale. Si le capteur est orienté pour que l'un de ses axes horizontaux soit parallèle à la direction longitudinale de la semelle, on obtient directement les informations longitudinales et transversales.

D'autres interprétations sont possibles avec des capteurs ayant un nombre différent de jauges de contraintes (par exemple, trois ou six).

Divers traitements et interprétations des signaux peuvent être prévus.

Selon un premier exemple, les signaux issus des différents dispositifs de mesure sont traités indépendamment pour obtenir des données localisées.

Selon un autre exemple, tout ou partie des mesures des dispositifs sont fusionnées pour obtenir des informations plus

globales. Par exemple, connaissant la surface sensible (section S de la tige 43) d'un capteur 4, on peut calculer une pression P comme étant égale au rapport de la force F_z selon l'axe vertical z sur la surface. Les données issues de tous les capteurs peuvent alors être fusionnées pour fournir une mesure globale des forces du pied. Par exemple, la somme temporelle de chaque force verticale fournit une composante de la force globale de l'appui au sol.

On peut également exploiter les mesures sous la forme d'une représentation du vecteur de la direction de la force globale calculée à chaque instant afin d'exploiter le suivi dynamique du vecteur d'appui.

Il est désormais possible d'exploiter des mesures locales du vecteur de forces tridimensionnel subi par la semelle que ce soit côté plante du pied ou côté sol. Il est également possible de combiner ces mesures au sein d'une même semelle.

Même dans le cas d'une disposition matricielle des capteurs, ceux-ci resteront individuellement portés par une plaque de rétroaction de façon à préserver le caractère local des mesures à la différence d'une plaque portant plusieurs capteurs.

Divers modes de réalisation ont été décrits. Diverses variantes et modifications apparaîtront à l'homme de l'art. En particulier, le choix des implantations des capteurs dans la semelle dépend du type de mesure que l'on souhaite effectuer. De plus, l'interprétation des mesures est à la portée de l'homme du métier en fonction des données qu'il souhaite collecter et en utilisant des outils de traitement numériques habituels.

REVENDEICATIONS

1. Semelle instrumentée pour une mesure de forces en trois dimensions, caractérisée en ce qu'elle comporte des dispositifs de mesure ponctuels (3) pourvus chacun :

5 - d'un capteur (4) comportant une tige rigide (43) de faible diamètre, compris entre environ 0,2 mm et 1 mm, reliée par une de ses extrémités au centre d'une membrane déformable (41) ayant une surface comprise entre environ 1 mm² et environ 10 mm², portant des jauges de contrainte (42), ce capteur étant apte à mesurer les trois composantes des forces subies par la
10 tige rigide (43) ; et

- d'une plaque de rétroaction (6) portant le capteur (4), de surface très supérieure à celle de la membrane (41), de l'ordre de 1 à 3 cm², la plaque (6) étant plus rigide que le matériau (23) constitutif de la semelle et présentant un centre
15 de symétrie approximativement aligné avec un axe de symétrie (z) du capteur défini par l'axe de la tige rigide (43).

2. Semelle selon la revendication 1, dans laquelle les dispositifs de mesure (3) sont répartis le long de la fibre neutre (27) de la semelle (2).

20 3. Semelle selon l'une quelconque des revendications 1 et 2, dans laquelle la surface de la plaque de rétroaction (6) est choisie en fonction de la résolution souhaitée pour le caractère ponctuel des mesures.

25 4. Semelle selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans laquelle les capteurs (4), leurs plaques de rétroaction respectives (6) et des conducteurs (51, 52) aptes à véhiculer les signaux électriques sont noyés dans le matériau (23) constitutif de la semelle (2).

30 5. Semelle selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans laquelle, pour mesurer des efforts d'un pied au sol au moyen d'un capteur (4), la plaque correspondante (6) est située côté pied par rapport au capteur.

6. Semelle selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, dans laquelle pour mesurer des efforts de la plante du pied

sur la semelle (2) au moyen d'un capteur (4), la plaque correspondante (6) est disposée côté sol par rapport au capteur.

7. Semelle selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, incluant des circuits (25) de traitement des mesures effectuées par les capteurs.

8. Semelle selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, dans laquelle les positions respectives des dispositifs de mesure (3) dans la surface de la semelle (2) sont choisies en fonction des informations souhaitées sur la marche ou autre allure d'un être portant la semelle.

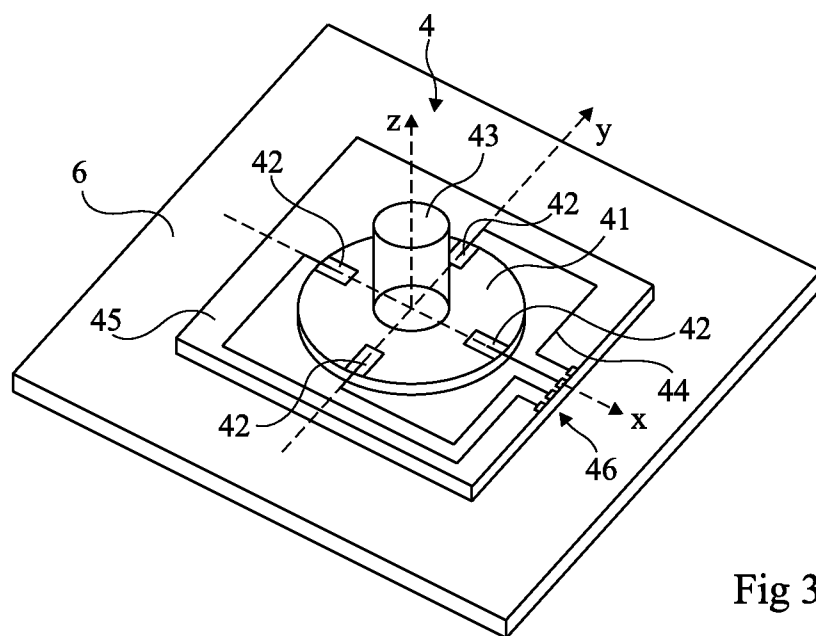
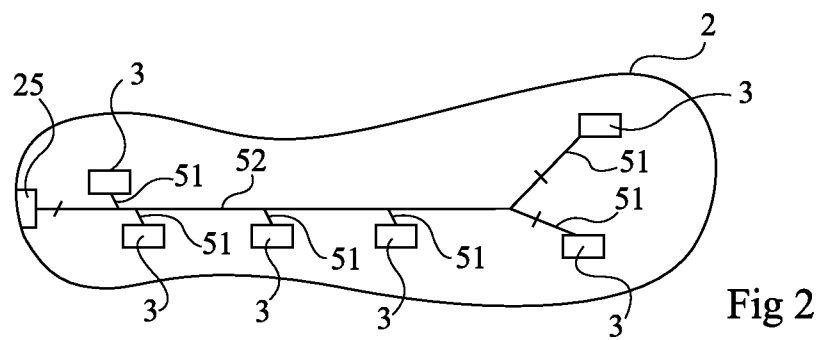
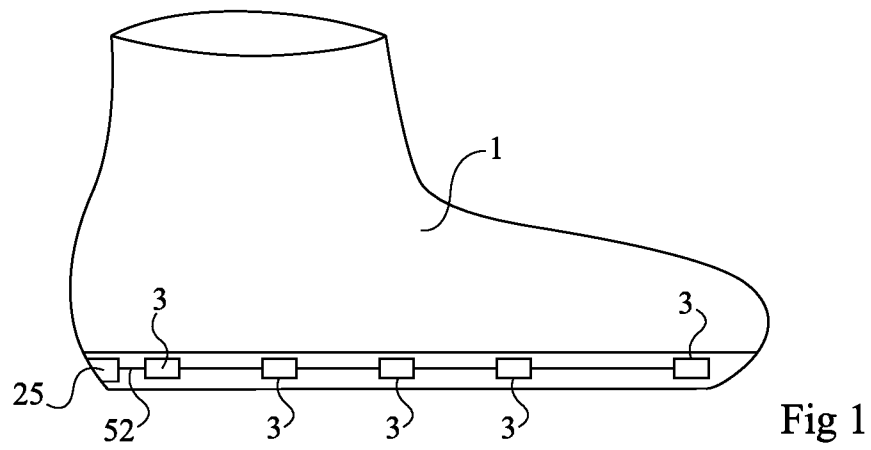
9. Semelle selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, intégrée dans une chaussure.

10. Semelle selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, intégrée dans une chaussette.

15 11. Système de collecte d'informations relatives aux forces en trois dimensions imprimées par un être humain ou animal sur le sol lors de la marche ou autre allure, caractérisé en ce qu'il comporte :

20 au moins une semelle (2) équipant un des pieds de l'être humain ou animal conforme à l'une quelconque des revendications 1 à 10 ; et

au moins une unité (73) de traitement de signaux électriques fournis par les capteurs (4).



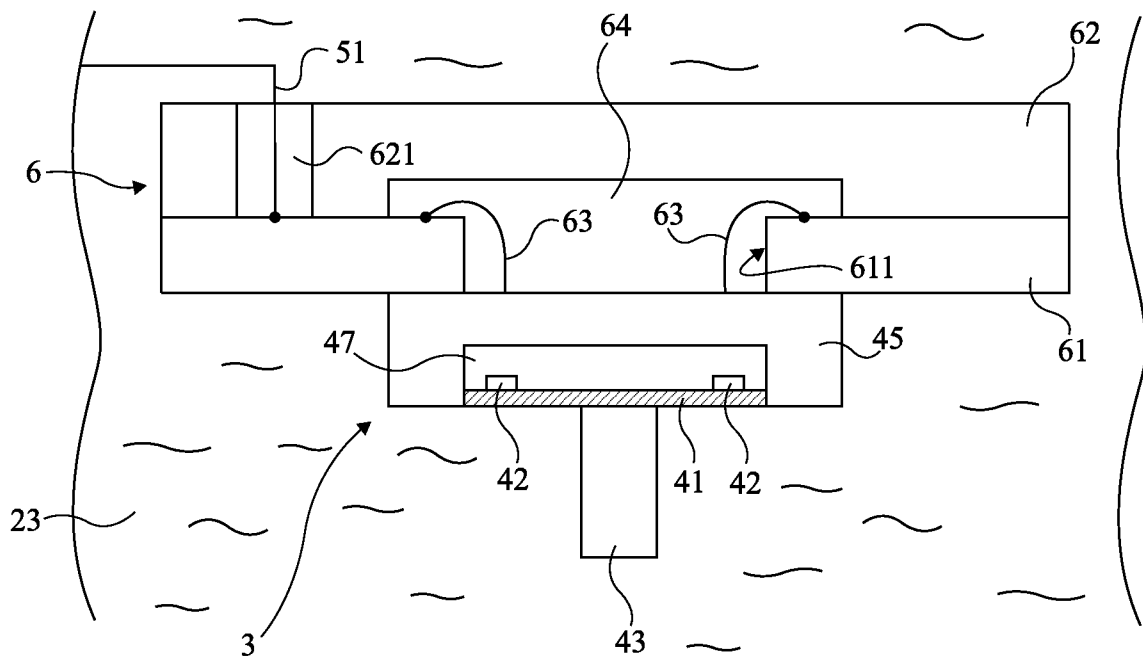


Fig 4

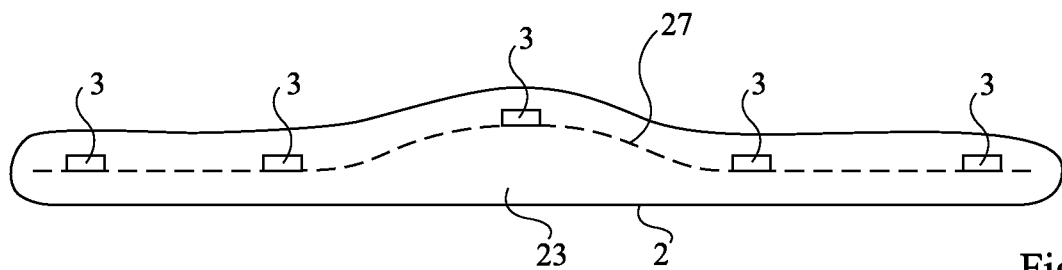


Fig 5

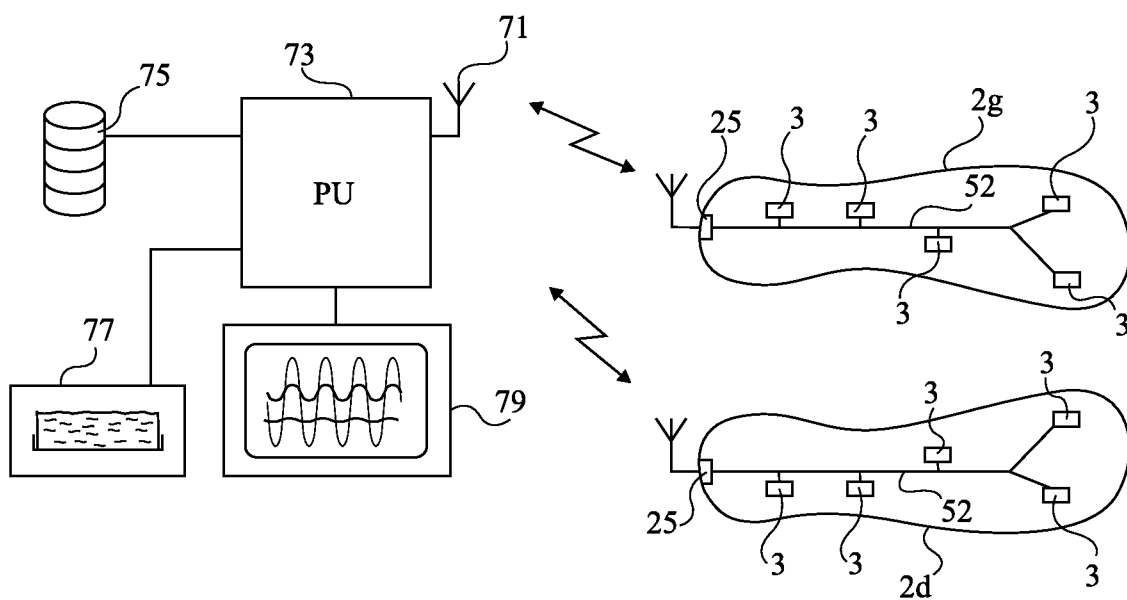


Fig 6